

**Tesis Monográfica para optar al Título de
Ingeniero Eléctrico**

Título

**“Propuesta de diseño de un sistema de automatización de una cinta
de transportadora utilizada en la industria minera”.**

Autores:

- Br. Eduardo Ramón Varela Jarquin
- Br. Marvin Jose Sequeira Lanuza

Tutor:

MSc.Ing. Ernesto Jose Lira Rocha

Managua, Agosto 2016

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción	6
II.	Antecedente	8
III.	Planteamiento de la Situación	9
IV.	Objetivos del Estudio	10
1.	Objetivo General	10
2.	Objetivo Específico	10
V.	Justificación	11
VI.	Marco Teórico	13
1.	Experiencia en la automatización como elemento de mejora	13
2.	Automatización industrial	13
3.	Justificación del proyecto de automatización	14
4.	Inversión y ventajas de automatización de los proyectos	15
5.	Cinta transportadora	17
6.	Funcionamiento de una cinta transportadora	17
6.1	Funcionamiento de rodillos transportadores	18
7.	Partes de una cinta transportadora	18
7.1	Generalidades	18
7.2	Grupos Motrices	21
8.	Motores eléctricos	22
8.1	Tipos de motores	22
9.	Variador de frecuencia	23
4.1	Conceptos básicos sobre variadores para motor trifásico	25
VII.	Metodología de Trabajo	29
1.	Recopilación de la información y trabajo de campo	29
2.	Análisis de datos	29
3.	Análisis de problemas potenciales	30
4.	Búsqueda en el mercado local los equipos	30
5.	Elaborar el informe del estudio para la implementación del sistema	30
VIII.	Descripción del software CADE SIMU	31
IX.	Elementos del sistema automatizado	36

X.	Descripción del sistema propuesto	45
1.	Diseño eléctrico del Sistema de transporte propuesto	45
2.	Funcionamiento del sistema	47
XI.	Conclusiones	51
XII.	Bibliografía	52

LISTA DE ABREVIACIONES

RPM	Revoluciones por minuto.
VDF	Variador de frecuencia
NC	Contacto normalmente cerrado
NA	Contacto normalmente abierto
V	Voltio
Hz	frecuencia
Ns	velocidad síncrona rpm
P	Potencia
VCA	Voltaje de corriente alterna
W	Vatios
Hp	Potencia

Índice de figuras

Figura 1: Componentes principales de una cinta transportadora	18
Figura 2: Entradas y salidas de un variador de frecuencia	22
Figura 3: Diagrama de bloques de un variador de frecuencia	23
Figura 4: Sobre velocidades del par motor.	25
Figura 5: Curvas par-velocidad para par constante	27
Figura 6: Interfaz del programa CADE-SIMU	30
Figura 7: Breaker automático.	35
Figura 8: Guarda-motor Siemens.	36
Figura 9: Vista de un Contactor Modelo Sirius del fabricante Siemens	37
Figura 10: Sección lateral de un Interruptor Magnetotérmico	38
Figura 11: Imágenes de los interruptores diferenciales de dos y cuatro polos	39
Figura 12: Mando de paro de emergencia.	41
Figura 13: Selector de tres posiciones	42
Figura 14: Luz piloto	42
Figura 15: Diagrama de mando del sistema propuesto	46
Figura 16: Diagrama de fuerza del sistema propuesto	47

I. Introducción

En la actualidad, el procesamiento de un producto industrial, agroindustrial, agrícola y minero están sujetos a diferentes movimientos, ya sean en sentido vertical, horizontal e inclinados. Para cumplir este objetivo, son utilizados equipos con el nombre de cintas transportadoras que son elementos auxiliares en todo el proceso de la industria minera.

Estas Cintas o bandas Transportadoras, vienen desempeñando un rol muy importante en los diferentes procesos industriales y esta se debe a varias razones entre las que destacamos las grandes distancias a las que se efectúa el transporte, su facilidad de adaptación al terreno, su gran capacidad de transporte, la posibilidad de transportar diversos materiales, por tal razón surge la necesidad de mejorar el diseño (Diagrama eléctrico) de funcionamiento de las mismas.

Hoy en día estos sistemas automatizados ocupan un lugar clave en el sector de la industria actual, la implantación de estos sistemas se demanda desde las cadenas de montaje y fabricación de todo tipo de productos, hasta los transportes, tanto de mercancías como de personas.

Este avance en el campo de la automatización industrial ha permitido una mayor especialización de los procesos, adaptando las instalaciones y los equipos a las tareas encomendadas y por consiguiente aumentando los rendimientos.

Este estudio se centra en los sistemas de cintas transportadoras utilizadas en la minería. Como ejemplos de aplicación se podrían citar, transporte de piedra triturada, pedrín, beta de oro, carbón, cemento etc.

En todo sistema de automatización, ya sea en líneas de fabricación o de transporte, el uso de cintas transportadoras y cintas de rodillos es muy común ya que permite un movimiento uniforme y controlado en toda su superficie, facilita la entrada y salida

de mercancías en el proceso y sus diferentes diseños permiten que se puedan integrar fácilmente en un ambiente industrial.

A medida que la electrónica avanza es necesario hacer cada vez más eficientes los procesos de producción, éste es el caso de aquellos procesos que involucren cintas transportadoras donde se pueda mejorar el control y gobierno de la misma de manera automatizada ya sea por el uso variadores de frecuencia.

Estos sistemas de velocidad variable se pueden aplicarse en aquellos procesos donde se requiera regular el flujo a diferentes cargas.

Partiendo de la premisa se busca automatizar parte de los procesos, es obvio que existen varias maneras de lograr este propósito y una de ellas es con la aplicación de los variadores de frecuencia como habíamos mencionado.

Por tanto el control automático de los procesos en la actualidad es una disciplina que se ha desarrollado con una velocidad igual a la de la tecnología, la misma que tiene avances día con día; una de las razones por las que las industrias dudan mucho en automatizar sus procesos, es que los dispositivos que ofrecen este beneficio tienen costos elevados.

Por lo que tienen la necesidad de buscar alternativas que les proporcionen los mismos beneficios y características a un costo módico, la aplicación de variadores de frecuencia en los procesos de la industria representa algunas ventajas para las empresas que deciden hacerlo una de ellas es el ahorro en el consumo de energía, el mismo que se ve reflejado en la economía de las mismas.

El estudio propone mejorar el diseño de funcionamiento eléctrico mediante la automatización y el control de una cinta transportadora que proporcione información y brinde gobernabilidad sobre los distintos parámetros del proceso, para mejorar aspectos como la operatividad de la cinta, la flexibilidad en el manejo de materias primas y la adecuación de sus condiciones de trabajo.

II. Antecedente

Las cintas transportadoras son elementos auxiliares de las instalaciones, cuya misión es la de recibir un producto de forma más o menos continua y regular para conducirlo a otro punto.

En este sentido el área de mantenimiento de la industria ha realizado algunas mejoras a las instalaciones eléctricas de las cintas, implementando más elementos y medios de protección, aumentando así los sistemas de seguridad.

Pero raramente se encuentran cintas de nueva implantación que cumplan con las necesarias premisas para la prevención de los riesgos profesionales

Actualmente la industria ha ejecutado una serie de medidas entre ellas los cambios en los diseños de accionamiento eléctrico y automatismo eléctrico de la cinta transportadora.

Con el sistema se han mejorados en el momento del arranque de los motores, además de implementar los arranques estrellas-delta logrando que la intensidad de corriente baje a una tercera parte de la intensidad que se produciría en un arranque directo.

También el par de arranque se reduce a menos de la mitad, lo que hace imposible este sistema en motores de media potencia que arranquen con carga. Otro inconveniente es el corte de tensión que se produce al pasar de estrella-Delta.

A pesar de todos estos cambios la gobernabilidad de la cinta sigue siendo muy poca, por lo que se necesita buscar nuevas alternativas de diseño.

III. Planteamiento de la Situación

Son aparatos que funcionan con ayuda de los operarios, intercalados en las líneas de proceso, por lo tanto requieren generalmente de un operario que manipule directamente sobre ellos de forma continua.

Por otra parte, las cintas son elementos de una gran sencillez de funcionamiento, que una vez instaladas en condiciones suelen dar pocos problemas.

Por otro lado el operario suele considerar que las cintas son elementos que únicamente complican y encarecen las instalaciones; por ello no suele prestarse la adecuada atención a todas aquellas características que no sean la potencia de su motor y la capacidad de transporte en toneladas/hora, olvidándose de las cotas de seguridad necesarias frente a los riesgos que como máquinas presentan, o, lo que es más grave, considerando las protecciones como elementos "accesorios o suplementos" que únicamente encarecen la instalación.

Ya que la máquina en su estado actual no logra este objetivo, es necesario realizar el control de algunos parámetros como velocidad, paros de emergencias que permitirían caracterizar y estandarizar los procesos de transportes de materiales.

En la actualidad las cintas transportan diferentes tipos de materiales. Para accionar la misma se usan motores que superan los 3 KW de potencia con una velocidad nominal de 1185 rpm en promedio, el arranque se realiza utilizando el método estrella-triángulo, el cual se ha venido usando desde mucho tiempo, ya que muchas cintas son bastante obsoletas, trayendo consigo muchos paros en los procesos, alto consumo energético, desgaste mecánico, rodamientos etc...

El resultado por el cual estos elementos mecánicos sufren desgaste es que la variación de velocidad existente no ofrece los rangos necesarios para normalizar los esfuerzos presentes en el proceso. De lo expuesto anteriormente se presenta la necesidad de implementar dispositivos que permitan regular la velocidad.

IV. Objetivos del Estudio

1. Objetivo General

- Diseñar un sistema automatizado para el control de una cinta de transportadora utilizada en la industria minera

2. Objetivo Específico

- Desarrollar el nuevo diseño del sistema eléctrico de la cinta transportadora utilizando variadores de frecuencia.
- Elaborar un diseño para la automatización y control de la cinta transportadora.
- Conocer la estructura y características de los variadores de frecuencia.
- Analizar las ventajas y desventajas del uso de variadores de frecuencia.
- Utilizar el software **CADE_Simu** para el diseño del sistema automatizado de la cinta transportadora.

V. Justificación

Con esta nueva propuesta se busca que la cinta transportadora cumpla con las necesarias premisas para la prevención de los riesgos tanto de los operarios como del personal de mantenimiento.

Además implementar un sistema de regulación de velocidad es una de las soluciones más eficientes para mejorar el proceso, pues en la tecnología de regulación de velocidad se obtienen reducciones en consumo de los motores que puedan alcanzar el 50%.

También mejoras en el control operativo que optimizan la rentabilidad y productividad de los procesos, a la vez minimizan las pérdidas en instalaciones ya que los equipos demandaran de la red menores potencias en cualquier régimen de trabajo incluso en el arranque

Por lo tanto el principal objetivo del presente estudio es aprovechar las ventajas que proporcionan los variadores de frecuencia, y conocer las posibilidades que brindan dichos dispositivos para reducir costos en varios aspectos en la industria; además de poder controlar la frecuencia de alimentación de un motor de CA a voluntad de las necesidades que se presenten en un proceso

Hasta el momento se ha mencionado y plasmado la justificación del porque efectuar la regulación de velocidades de los motores que accionan las extrusoras, pero ¿cuál es la mejor manera? y ¿cuáles son los métodos más eficientes de regulación de velocidad?

Existen diferentes formas de regular la velocidad bien sea por medios mecánicos, eléctricos y electrónicos; en la actualidad el método más eficiente es el electrónico, donde han incursionado los convertidores de frecuencia los cuáles presentan muchas ventajas en comparación con los otros métodos de regulación de velocidad.

Un convertidor de frecuencia es un regulador de velocidad que gracias al progreso experimentado por la electrónica de potencia ha permitido manejar potencias que

abarcan desde algunos vatios hasta varios megavatios, permitiendo así satisfacer todas las necesidades planteadas en sus diversas aplicaciones industriales.

Este dispositivo realiza una conversión óptima de la energía, regulando la velocidad al hacer variar la frecuencia de operación del motor, como la variación no se hace por debilitamiento de campo, el torque ofrecido por este no disminuye significativamente.

Se tiene un mayor control en el proceso de transporte de los materiales, además ahorros de energía en el arranque y las paradas que se realizan con rampas de aceleración y desaceleración, trayendo consigo menores esfuerzos y por lo tanto menores desgastes en los elementos de todo el sistemas de la banda.

VI. Marco Teórico

1. Experiencia en la automatización como elemento de mejora

La justificación de los proyectos de automatización deben ser el motor que impulsa y motiva a los directivos a invertir en tecnologías que serán usadas en sus procesos de producción para que las empresas sean competitivas a nivel local, nacional, regional y mundial.

Una de las preguntas clave que realiza el empresario al proponérsele un proyecto de automatización es si ese proyecto logrará resolver el o los problemas para los cuales se diseñó o si incrementará las ganancias de la empresa (Velázquez C.).

2. Automatización industrial

La automatización Industrial es un conjunto de técnicas basadas en sistemas capaces de recibir información del proceso sobre el cual actúan, realizar acciones de análisis, organizarlas y controlarlas apropiadamente con el objetivo de optimizar los recursos de producción, como los materiales, humanos, económicos, financieros, etc.

La automatización de una empresa, dependiendo del proyecto, puede ser parcial o total y se puede ajustar a procesos manuales o semi-automáticos.

La automatización de las plantas industriales es un aspecto muy importante en el crecimiento de las empresas ya que se ven en la necesidad de:

- Incrementar la demanda del producto.
- Ofrecer productos de mejor calidad.
- Optimizar el consumo de energía.

La principal razón de automatizar es el incremento de la productividad, ello se logra racionalizando las materias primas e insumos, reduciendo los costos operativos, reduciendo el consumo energético, incrementando la seguridad de los procesos.

Así mismo optimizando el recurso humano de la empresa y mejorando el diagnóstico, supervisión y control de calidad de la producción.

Se debe tener en cuenta que los tiempos de producción, como de control o toma de datos se reducen, ya que los instrumentos digitales eliminan las tareas repetitivas de anotación de datos y de procesamiento de los mismos, todo esto es programado y ejecutado automáticamente por los instrumentos.

De este modo, el número de operadores necesarios para realizar estas tareas se reduce, pero hay otras nuevas a realizar para utilizar al máximo las posibilidades de los instrumentos de los sistemas modernos de control.

Debido a ello es necesario capacitar al personal para realizar estas tareas de mayor nivel, por tal razón, la automatización de una planta no debe originar reducción de personal como lo mencionan los principios de Lean sino reducir realmente los re-procesos que causan gastos excesivos y generan también mala calidad hacia los usuarios.

3. Justificación del proyecto de automatización

Para justificar un proyecto de automatización se debe tener en cuenta las estrategias y objetivos de la empresa ya que de esto dependerá el éxito del proyecto.

Para ello los objetivos deben coincidir con las estrategias empresariales para cumplir con su misión. Es pues importante definir y documentar las estrategias de la empresa en cuanto al negocio, al producto y a la manufactura, también será importante evaluar el resultado de tales estrategias.

4. Inversión y ventajas de automatización de los proyectos

La industria dedicada a la minería ha estado trabajando en el estudio y posterior implementación de soluciones de innovación tecnológica, pero en muchos casos estas soluciones eran costosas, difíciles de implementar y muy complejas en el manejo operativo.

Hoy en día, la tecnología se ha acercado mucho a las necesidades y realidades de cada industria minera, brindando, a cada una de ellas, soluciones específicas según la estructura, capacidad y posibilidades de crecimiento a futuro.

Hoy, la automatización en el ámbito eléctrico, específicamente en el área de la industria de la minería, es una solución real tangible y probable para cualquier estructura de una empresa.

La eficiencia y capacidad de respuesta del funcionamiento de su red eléctrica a través de un sistema automatizado con redes, reduce el riesgo operativo del negocio, cuando es aplicada en forma sistemática y controlada dentro de la red de cada sistema.

Desde el punto de vista de los costos operativos de desarrollo de ingeniería y de operación, a medida que las organizaciones piensan en ser más “esbeltas” (Lean), la automatización permanece a la vanguardia como un “activador” para lograr los objetivos de aligeramiento, principalmente en el recorte de los costos.

En camino hacia el logro de la automatización, impulsado por las necesidades de optimización del negocio, dispondrá de la capacidad de realizar la automatización en el contexto de las prioridades del negocio, a través del aprovechamiento de las inversiones, tanto nuevas como existentes, en entornos colectivos para obtener eficiencia, mejorar la productividad y mantener las ventajas competitivas.

La automatización como mejora de la eficacia y la rentabilidad, es aplicable a todos los actores involucrados de este mercado independientemente de su envergadura.

Por lo general, la implementación de un sistema de automatización se enfoca desde el punto de vista de un gasto y no desde el enfoque inversión versus beneficio.

En estos casos se considera al sistema de automatización como otro elemento de la red para cumplir una función determinada, como si se tratase de un mal necesario.

El objetivo es el de enumerar una serie de beneficios tangibles e intangibles; directos e indirectos que van a dejar en claro que la automatización produce un beneficio a mediano y largo plazo.

En realidad, el beneficio siempre tiende a ser medido en valores monetarios, puesto que de ese modo se pueden tomar decisiones más fácilmente y la justificación es más sencilla: obviamente, el objetivo es maximizar el beneficio monetario de la compañía.

Comenzando a enumerar los beneficios tangibles, directos y mesurables, podemos decir que la inversión en automatización en el campo de la distribución, desde el momento de su implementación, produce beneficios.

Todos estos aspectos deben ser tomados en cuenta al momento de evaluar un proyecto de automatización, ya que en todos los casos, muestran que la inversión realizada es de fácil recuperación y en un periodo de corto a mediano plazo, pero que perdurará en el tiempo como una inversión genuina y un salto a la modernidad de la industria.

A continuación se describirán algunos conceptos relevantes que permitirán comprender el estudio actual, que son indispensables para el cumplimiento de los objetivos planteados del estudio.

5. Cinta transportadora

Es un aparato para el transporte de objetos formado por dos poleas que mueven una cinta transportadora continua. Las poleas son movidas por motores, haciendo girar la cinta transportadora y así lograr transportar el material depositado en la misma.

En el transporte de materiales, materias primas, minerales y diversos productos se han creado diversas formas; pero una de las más eficientes es el transporte por medio de bandas y rodillos transportadores.

Ya que estos elementos son de una gran sencillez de funcionamiento, que una vez instalados en condiciones suelen dar pocos problemas mecánicos y de mantenimiento.

Las bandas y rodillos transportadoras son elementos auxiliares de las instalaciones, cuya misión es la de recibir un producto de forma más o menos continua y regular para conducirlo a otro punto.

Son aparatos que funcionan solos, intercalados en las líneas de proceso y que no requieren generalmente de ningún operario que manipule directamente sobre ellos de forma continuada.

6. Funcionamiento de una cinta transportadora

Este tipo de transportadoras continuas están constituidas básicamente por una banda sinfín flexible que se desplaza apoyada sobre unos rodillos de giro libre. El desplazamiento de la banda se realiza por la acción de arrastre que le transmite uno de los tambores extremos, generalmente el situado en "cabeza".

Todos los componentes y accesorios del conjunto se disponen sobre un bastidor, casi siempre metálico, que les da soporte y cohesión. Se denominan cintas fijas a aquéllas cuyo emplazamiento no puede cambiarse.

Las cintas móviles están provistas de ruedas u otros sistemas que permiten su fácil cambio de ubicación; generalmente se construyen con altura regulable, mediante un sistema que permite variar la inclinación de transporte a voluntad

6.1 Funcionamiento de rodillos transportadores

El sistema de rodillos funciona por medio de un motor de rotación; el cual por a través de cadenas, cintas u otro elemento transfiere esta energía a los diferentes rodillos, lo cual hace que el sistema opere de una manera eficiente haciendo rodar todos los rodillos a una misma revolución, lo cual hará girar a una misma velocidad todos los rodillos.

7. Partes de una cinta transportadora

7.1 Generalidades

Las cintas transportadoras son elementos auxiliares de las instalaciones, cuya misión es transportar, elevar o distribuir materiales hacia otro punto. Son aparatos que funcionan solos, intercalados en las líneas de proceso y que no requieren generalmente de ningún operario que las manipule directamente de forma continuada.

Las cintas transportadoras sirven para el transporte horizontal o inclinado de objetos sólidos o material a granel cuyas dos ventajas principales son:

- Gran velocidad.
- Grandes distancias.

Su función más importante, a nivel de transporte, es hacerlo de forma continua, tanto de materiales homogéneos como mezclados, a distancias que pueden oscilar entre algunos metros y decenas de kilómetros.

Uno de los componentes principales de los transportadores es la banda de goma, que ejerce una doble función:

- Contener el material transportado.
- Transmitir la fuerza necesaria para transportar la carga.

Los ramales, superior y de retorno de la banda, descansan sobre una serie de rodillos soportados por estructuras metálicas. En los dos extremos del transportador, la banda se enrolla en tambores, uno de los cuales, acoplado a un órgano motor, transmite el movimiento.

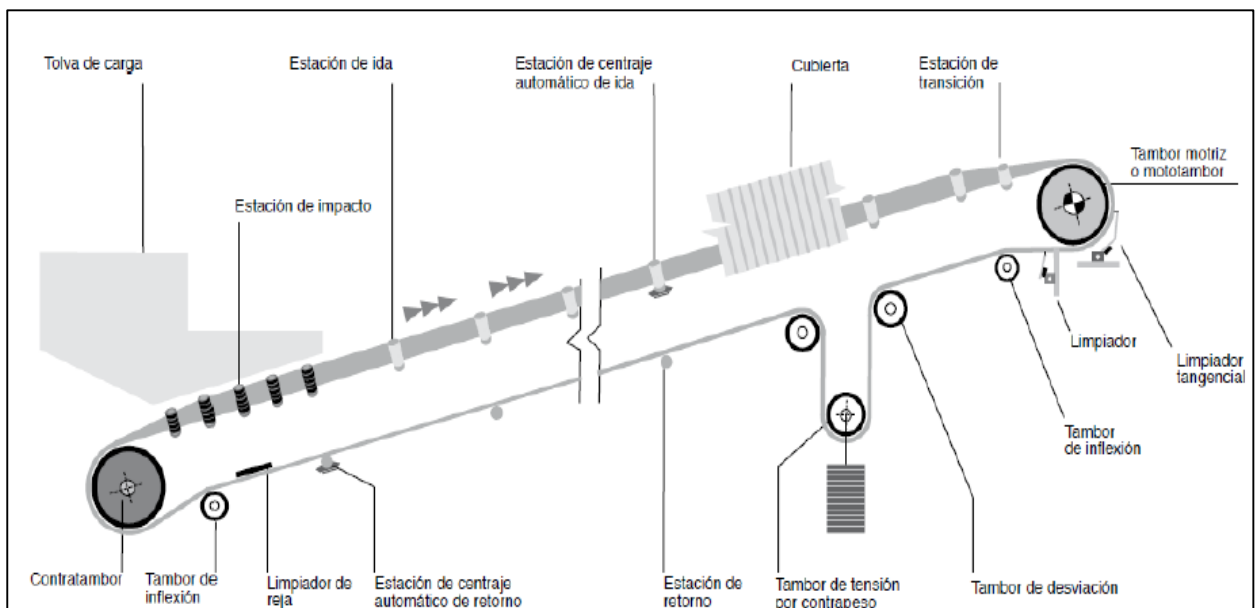


Figura 1 : Componentes principales de una cinta transportadora

Las bandas y rodillos transportadores poseen las siguientes herramientas para poder funcionar óptimamente y con una buena eficiencia:

Estructura soportante: la estructura soportante de una cinta transportadora está compuesta por perfiles tubulares o angulares, formando en algunos casos verdaderos puentes que se fijan a su vez, en soportes o torres estructurales apernadas o soldadas en una base sólida.

Elementos deslizantes: son los elementos sobre los cuales se apoya la carga, ya sea en forma directa o indirecta, perteneciendo a estos los siguientes;

Correa o banda: la correa o banda propiamente tal, que le da el nombre a éstos equipos, tendrá una gran variedad de características, y su elección dependerá en gran parte del material a transportar, velocidad, esfuerzo o tensión a la que sea sometida, capacidad de carga a transportar, etc.

Polines: generalmente los transportadores que poseen éstos elementos incorporados a su estructura básica de funcionamiento, son del tipo inerte, la carga se desliza sobre ellos mediante un impulso ajeno a los polines y a ella misma.

Elementos motrices: el elemento motriz de mayor uso en los transportadores es el del tipo eléctrico, variando sus características según la exigencia a la cual sea sometido.

Además del motor, las poleas, los engranajes, la moto reductora, son otros de los elementos que componen el sistema motriz.

Tambor motriz y de retorno: la función de los tambores es funcionar como poleas, las que se ubicaran en el comienzo y fin de la cinta transportadora, para su selección se tomarán en cuenta factores como: potencia, velocidad, ancho de banda, entre otros.

7.2 Grupos Motrices

El grupo motriz de una banda transportadora es uno de los componentes más importantes de la misma.

De la adecuada elección de los elementos que la forman, depende la seguridad de funcionamiento y la vida de la banda.

La forma en la que se efectúa el arranque, influye en la vida y comportamiento de los componentes del grupo motriz, y así mismo en la vida de la banda, tambores y rodillos.

También afecta al comportamiento de la banda en las curvas verticales, recorrido de los tambores tensores y a la pérdida de fricción en el tambor motriz. Tres reóstatos para el control de las 4 zonas de temperaturas. La zona 3 y 4 están fusionadas en un solo control.

Los componentes del grupo motriz, señalados en el orden de entrada a salida del movimiento son:

- *Motor eléctrico.*
- *Acoplamiento de alta velocidad, puede ser elástico o fluido.*
- *Acoplamiento de baja velocidad.*
- *Dispositivo anti-retorno.*
- *Freno.*

El motor, el reductor y el freno, están unidos a una bancada. En motores de potencias pequeñas, el motor y el reductor forman una sola unidad, suprimiéndose así la bancada.

8. Motores eléctricos

La primera condición al elegir un motor, es que la potencia del mismo sea al menos igual a la potencia requerida en el eje de salida del reductor, dividida entre el rendimiento del mismo.

En los casos en que existen posibilidades de sobrecarga de larga duración o no se tenga seguridad en el valor de la potencia calculada, hay que multiplicar ésta por un factor de servicio, con el fin de tener en cuenta estas circunstancias.

En potencias grandes, en las que el paso de un tamaño de motor al inmediato supone un incremento importante del coste, debe tenerse muy en cuenta la elección del factor de servicio adecuado.

Desde el punto de vista del arranque, la elección de un motor sobredimensionado no es buena, al existir pares de arranque elevados y por tanto grandes aceleraciones si el arranque se efectúa de forma directa.

Las potencias indicadas en la placa de características de los motores, son las disponibles en el eje de los mismo, para un trabajo continuo y manteniendo una temperatura estable.

8.1 Tipos de motores

Los empleados en cintas transportadoras, generalmente son:

- De corriente alterna:
 - De jaula de ardilla, que es el más empleado.
 - De rotor bobinado.
- De corriente continua, mucho menos empleado.

9. Variador de frecuencia

En un motor de inducción, cuando se conecta el estator a una fuente de potencia trifásica, se genera un campo magnético rotatorio que gira de acuerdo a la frecuencia de la fuente. Por consiguiente, la velocidad del motor depende de la frecuencia aplicada, así como del arreglo del devanado y, en menor medida, de la carga.

Por lo tanto, para controlar la velocidad de un motor de inducción es necesario controlar la frecuencia de la fuente de alimentación.

Conceptos y definiciones básicas

Variadores de frecuencia: se trata de dispositivos electrónicos, que permiten el control completo de motores eléctricos de inducción; los hay de c.c. (variación de la tensión), y de c.a. (variación de la frecuencia); los más utilizados son los de motor trifásico de inducción y rotor sin bobinar (jaula inversores (inverter). También se les suele denominar inversores (invertir) o variadores de velocidad.

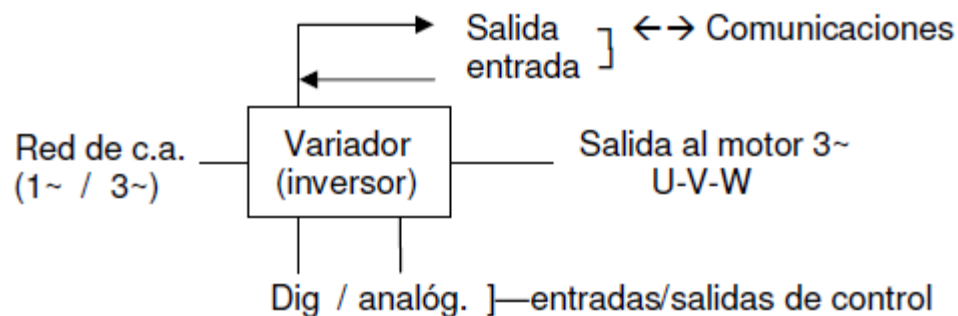


Figura 2: Entradas y salidas de un variador de frecuencia

Red de suministro: acometida de c.a., monofásica en aparatos para motores pequeños de hasta 1,5 kW (2 C.V. aprox), y trifásica, para motores de más potencia, hasta valores de 630 kW o más.

Entradas y salidas (E/S ó I/O): diferentes conexiones de entradas y salidas de control; pueden ser digitales tipo todo o nada (contactos, pulsadores, conmutadores, contactos de relé...) o analógicas mediante valores de tensión (0...10 V o similares) e intensidad (4...20 mA o similares). Además puede incluir terminales de alarma, avería, etc.

Comunicaciones: estos dispositivos pueden integrarse en redes industriales, por lo que disponen de un puerto de comunicaciones, por ejemplo RS-232, RS-485, red LAN, buses industriales (Profibus...) o conexiones tipo RJ-45 o USB para terminales externos y ordenadores. Cada fabricante facilita el software de control, directo o mediante bus de comunicaciones. Que permitirá el control, programación y monitorización del variador (o variadores) en el conjunto de aparatos de control empleados.

Salida: conexión al motor, generalmente de tres hilos (U-V-W) para conexión directa en triángulo o estrella según la tensión del motor.

Diagrama en bloques de un variador

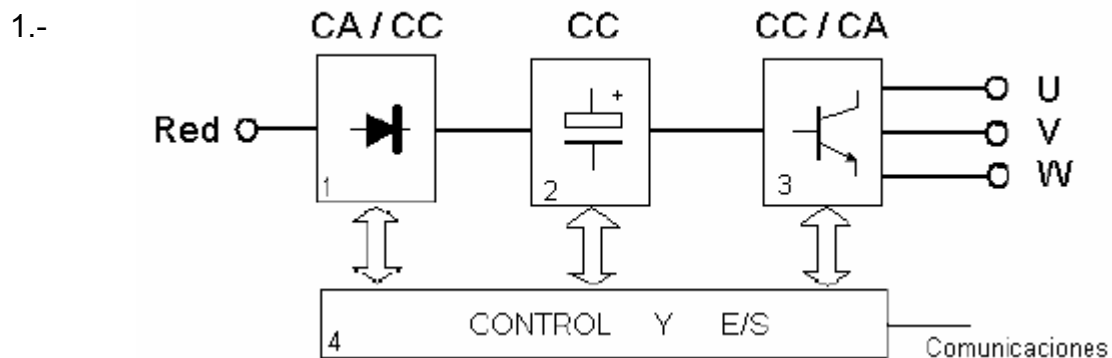


Figura 3 : Diagrama de bloques de un variador de frecuencia

1. Rectificador: partiendo de la red de suministro de c.a., monofásica o trifásica, se obtiene c.c. mediante diodos rectificadores.

-
2. Bus de continúa: condensadores de gran capacidad (y a veces también bobinas), almacenan y filtran la c.c. rectificada, para obtener un valor de tensión continúa estable, y reserva de energía suficiente para proporcionar la intensidad requerida por el motor.
 3. Etapa de salida: desde la tensión del bus de continua, un ondulator convierte esta energía en una salida trifásica, con valores de tensión, intensidad y frecuencia de salida variables. Como elementos de conmutación, se usan principalmente transistores bipolares (BJT), CMOS o similares, IGBT, tiristores (SCR), GTO... etc. Las señales de salida, se obtiene por diversos procedimientos como troceado, mediante ciclo convertidores, o señales de aproximación senoidal mediante modulación por anchura de impulsos **PWM**.
 4. Control y E/S: circuitos de control de los diferentes bloques del variador, protección, regulación... y entradas y salidas, tanto analógicas como digitales. Además se incluye el interfaz de comunicaciones con buses u otros dispositivos de control y usuario.

4.1 Conceptos básicos sobre variadores para motor trifásico

Velocidad (n): la velocidad en el eje de un motor asíncrono en rpm, depende del número de polos magnéticos del motor, y la frecuencia f (Hz), de la red de suministro:

$$n = 60 \frac{f}{2p}$$

Dónde: n = velocidad en rpm

f = frecuencia de la red en Hz

2p= número de pares de polos del moto

Ejemplo, para red de 50 Hz:

$2p = 1; n=3000 \text{ rpm}$ $2p=2; n=1500 \text{ rpm}$ $2p=3; n=1000 \text{ rpm}$...etc.

La velocidad real de giro siempre es menor que la expresada, al ser motores asíncronos. La diferencia entre n_{SINCRONA} y $n_{\text{ASINCRONA}}$, se denomina deslizamiento, (σ ó s) que se expresa en porcentaje de rpm o en valor absoluto:

$$\left. \begin{array}{l} n_{\text{SINCRONA}} = 1500 \text{ rpm} \\ n_{\text{ASINCRONA}} = 1440 \text{ rpm} \end{array} \right\} \text{Deslizamiento } \sigma = 4\% \text{ ó } 60 \text{ rpm}$$

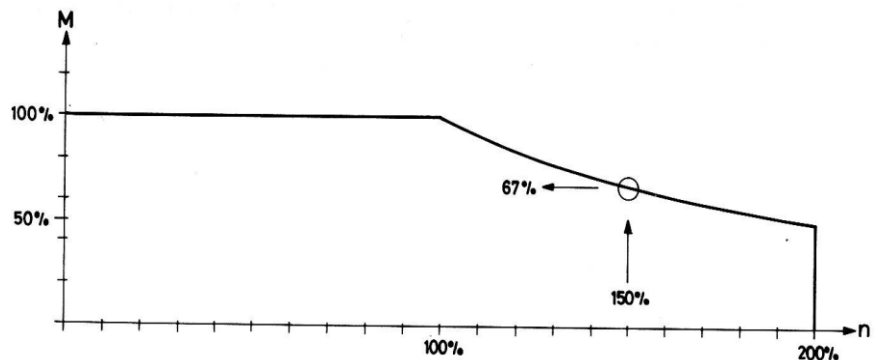
Los motores se fabrican para una velocidad nominal o de trabajo determinada, pero mediante el variador de frecuencia dicha velocidad puede controlarse de manera progresiva. Por ejemplo, un motor de 50 Hz y 1500 rpm (4 polos), podría girar, con variación de frecuencia entre 5 y 120 Hz a velocidades comprendidas entre:

$$n = (60 \cdot 5) / 2 = 150 \text{ rpm} \quad \text{y} \quad n = (60 \cdot 120) / 2 = 3600 \text{ rpm}$$

Sobre-velocidad: el variador puede proporcionar frecuencias de salida superiores a la de trabajo del motor, lo que le hace girar a mayor velocidad que la nominal. La curva de par, para velocidad de trabajo mayor de la nominal, disminuye, de manera que con velocidad doble (200%) el par cae a la mitad del nominal.

La sobre velocidad es útil en aplicaciones que no requieren mucho par, como por ejemplo sierras de disco, pero si altas velocidades. En estos casos es importante tener en cuenta las características de par y temperatura de trabajo del motor.

Figura 4: Sobre velocidades del par motor.



Par transmitido por el eje (par motriz): la fuerza de tracción del motor a través del eje, depende principalmente de las expresiones siguientes:

$$T = 9550 \frac{P}{n} \quad T = K \left(\frac{U}{f} \right)^2$$

Dónde: T = par motriz (también suele usarse M o Mm)

K y 9550 = constantes

U = tensión aplicada al inductor (estator)

f = frecuencia en Hz

P = potencia del motor en kW

n = velocidad (real) de giro del motor en rpm

Por otro lado, el flujo magnético en los polos del motor (Φ), depende de la tensión:

$U = K \cdot \Phi \cdot f \Rightarrow$ el flujo magnético:

$$\Phi = K \left(\frac{U}{f} \right)$$

Es decir, el par depende *directamente* del flujo magnético, por lo que para obtener el control del par, hay que operar sobre este parámetro; por ello, si tenemos en cuenta las relaciones de par y velocidad:

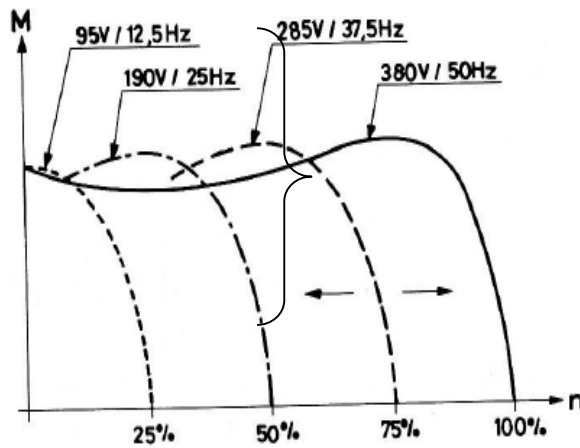
Par constante = flujo constante, en consecuencia: $\frac{U}{f} = cte$

El factor U/f tiene especial importancia en la forma de configurar un variador, ya que de ahí dependerá el par motriz desarrollado por el motor, sin importar la velocidad de giro.

Además, de la primera expresión de T, vemos que el par es proporcional a U^2 , de manera que si U/f es constante, el par dependerá de manera directa de la tensión:
 $T \propto U^2$

Ejemplo de curvas par-velocidad para par constante:

Motor de 380V y 50 Hz, para diferentes velocidades:



$$380/50 = 7,6$$

$$285/37,5 = 7,6 \quad (U/f) = \text{constante}$$

$$190/25 = 7,6$$

$$95/12,5 = 7,6$$

Figura 5 : Curvas par-velocidad para par constante

VII. Metodología de Trabajo

En esta metodología se hace un análisis del trabajo de la cinta transportadora utilizada en la minería, los materiales que transporta y características de los elementos motrices, así como los recursos financieros con los que cuenta la empresa para la implementación del nuevo sistema de automatización en la cinta transportadora, criterios que se tienen que considerar para poder ser aplicados.

1. Recopilación de la información y trabajo de campo

El objetivo es identificar los aspectos que permiten medir cada proceso, recopilar y clasificar los datos que afectan el buen funcionamiento del proceso de transporte de materiales.

Algunos datos como el proceso de arranque de las cintas transportadoras y los sistemas de seguridad o protección de la misma, velocidades del motor y control sobre el sistema.

2. Análisis de datos

Una vez que la información ha sido recopilada en los pasos anteriores del estudio, la información deberá ser capturada y ordenada para proceder a su análisis, datos como:

- Funcionamiento del actual mecanismo.
- Elementos de seguridad y protección
- Gobierno del sistema

Con la finalidad de identificar las áreas de oportunidad para mejorar el proceso que ofrezca el cambio de sistema de arranque y gobierno.

3. Análisis de problemas potenciales

Identificar cualquier problema potencial para adelantarnos a la falla y darle la solución más adecuada para evitar posibles paradas de planta innecesarias.

Realizar un diagrama de esfuerzos, que permita ver hacia dónde va el proceso, si está mejorando o empeorando

4. Búsqueda en el mercado local los equipos

De acuerdo a la teoría desarrollada y a las necesidades que presente la planta se necesita la búsqueda empresas distribuidoras de convertidores de frecuencia para la evaluación de las propuestas, en cuanto a los siguientes aspectos:

- Soporte técnico
- Capacidad de adquisición de variadores
- Instalación del equipo
- Capacitación del personal en manejo, operación y programación de los variadores.
- Costo

5. Elaborar el informe del estudio para la implementación del sistema

El paso final es el de preparar un informe que contenga las observaciones y conclusiones del estudio del uso e implementación del nuevo sistema de automatización de la cinta transportadora, haciendo énfasis en las oportunidades de la mejora de los procesos e incluso ahorro de energía.

VIII. Descripción del software CADE SIMU

CADE-SIMU es un programa de edición y simulación de esquemas de automatismos eléctricos. No tiene instalador, se trata de un archivo en formato .ZIP que debe descomprimirse en cualquier carpeta y haciendo doble clic en el ejecutable, basta para que funcione. Además solicita una clave de acceso.

Los nuevos diseños eléctricos elaborados se guardan por defecto con la extensión .CAD, debemos siempre ejecutar el programa y después abrir el archivo que deseamos editar, no utilizar el doble clic sobre el archivo.

Interfaz del Programa CADE-SIMU

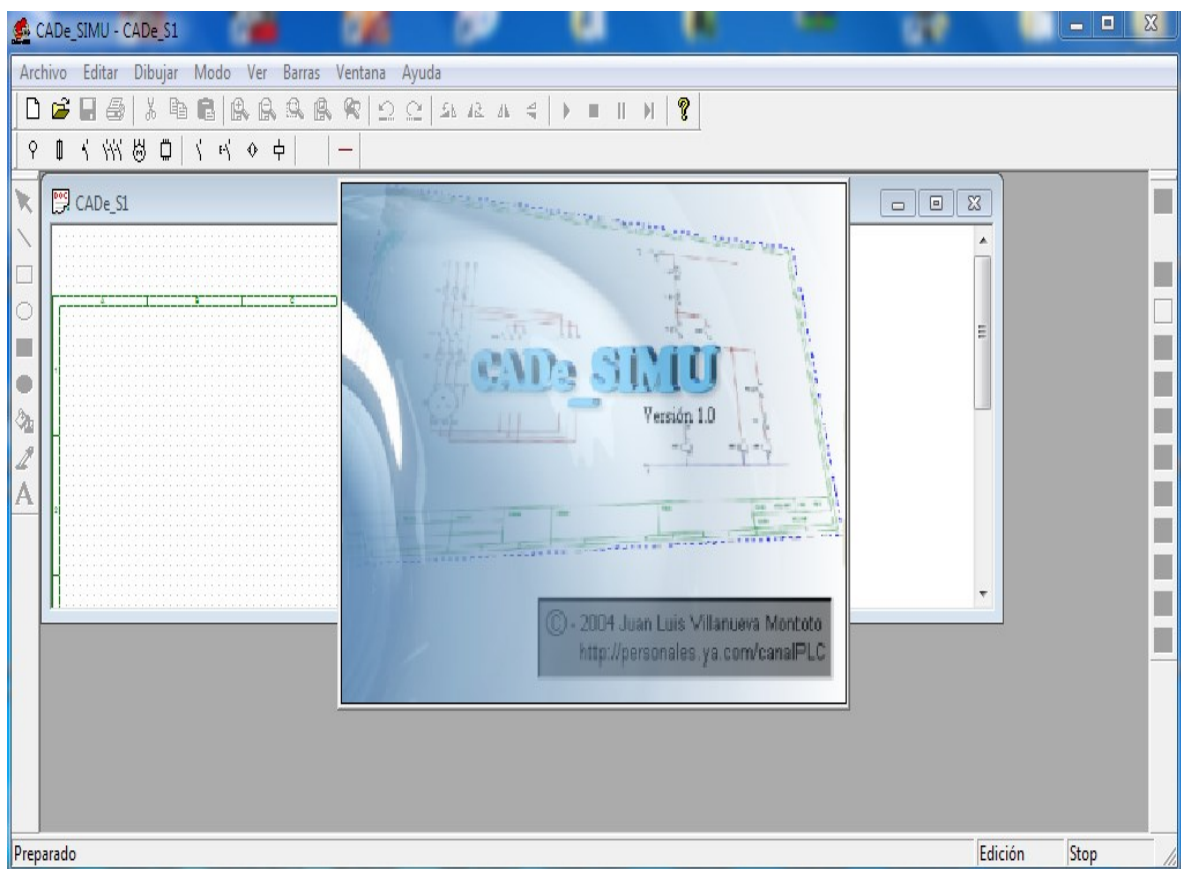
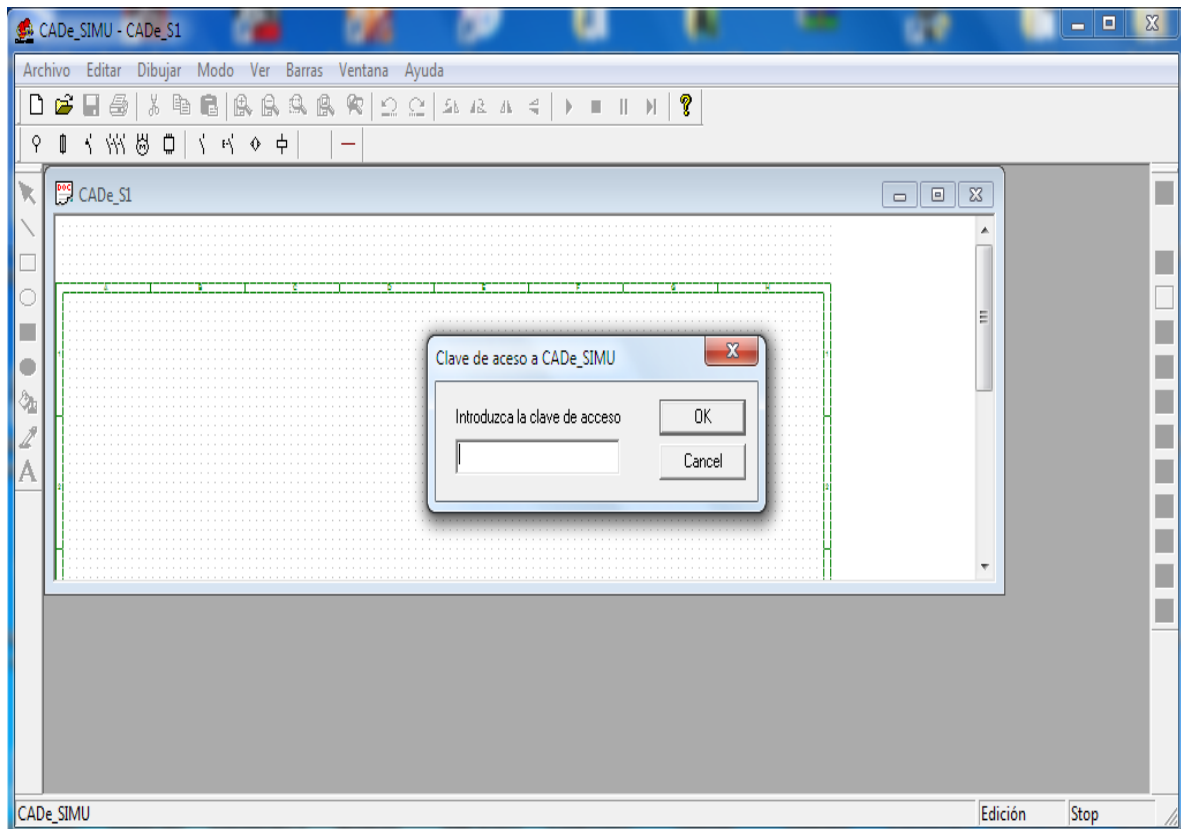
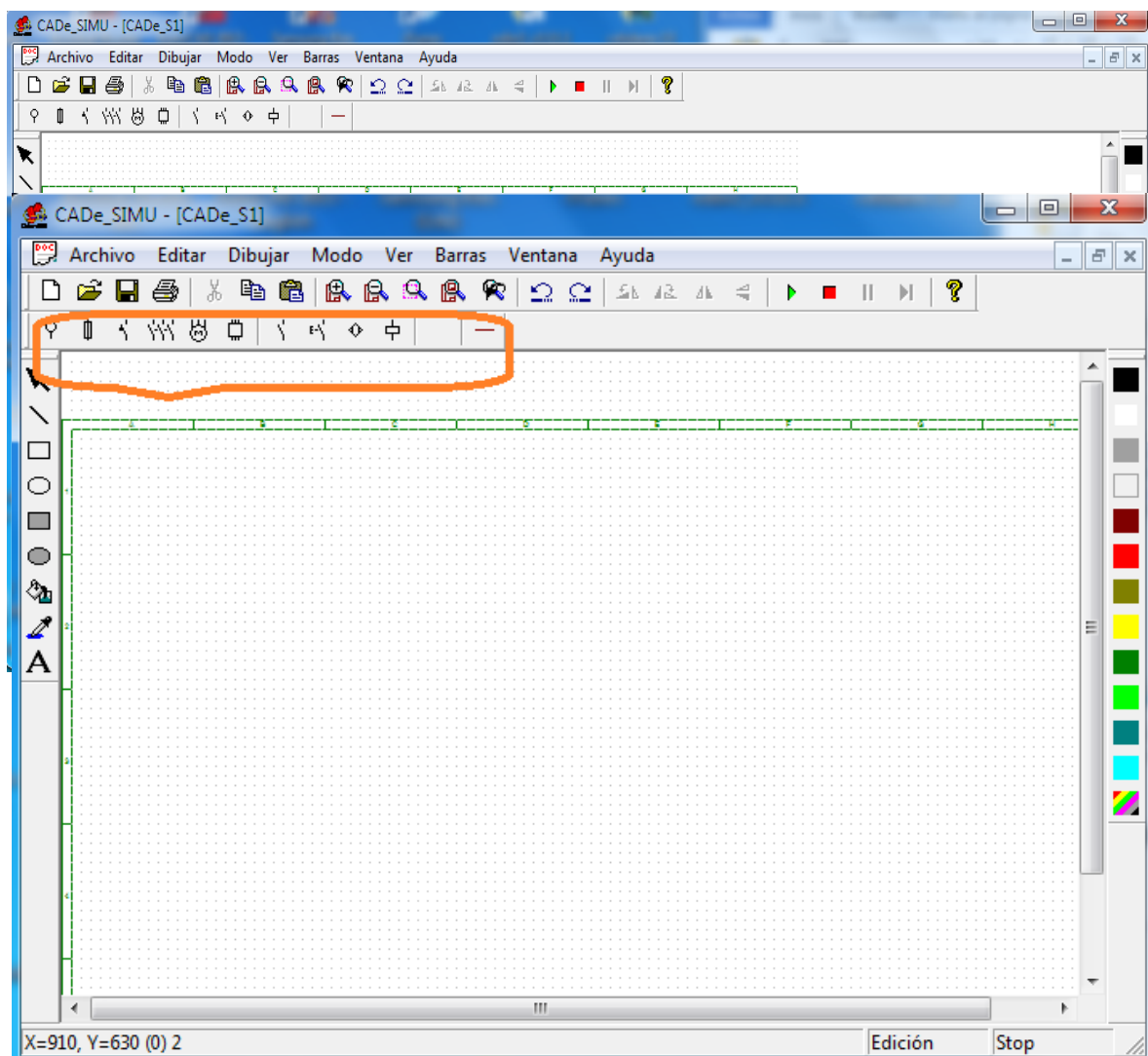


Figura 6 : Interfaz del programa CADE-SIMU

Inicio del programa , introducir clave 4962 (Importante si no introducimos clave no permitira guardar el programa diseñado.



Listo para editar o simular el automatismo electrico de la maquina



En la seccion seleccionada tendremos distintos componentes agrupados por categoria. Al pulsar sobre ellos se desplegaran en la parte inferior los distintos simbolos de los elementos de cada categoria.

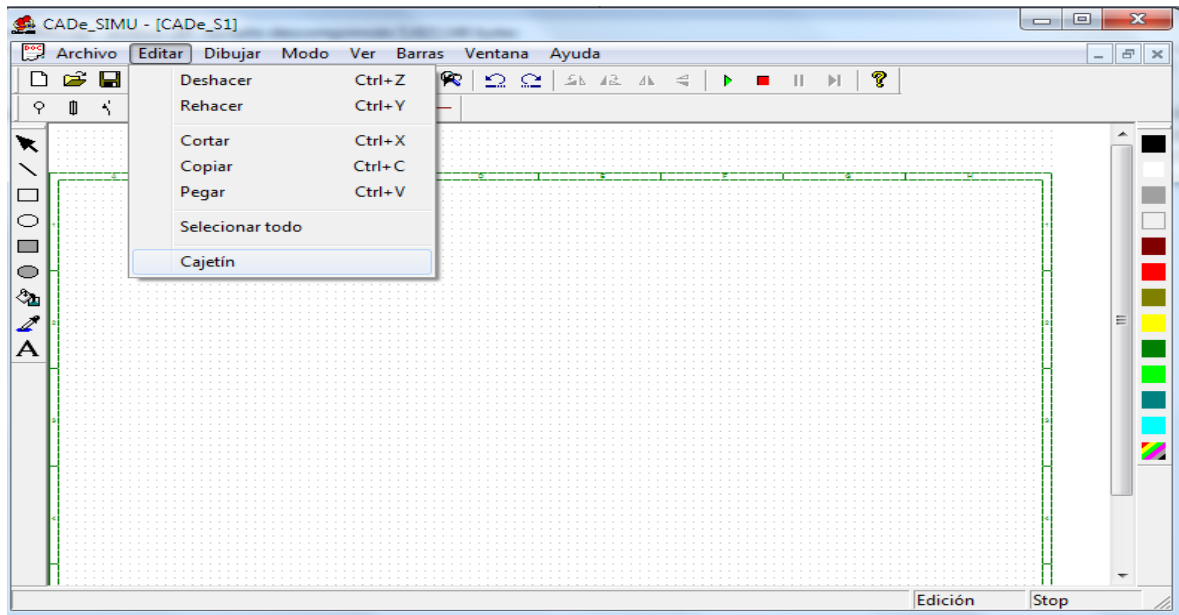
Las distintas categorias podemos verlas desplegadas en la pagina siguiente . pasando el cursor por encima del componente , nos aparecera una descripcion del mismo .

Para insertarlo , bastara con pulsar sobre el y desplazar el cursor hasta el área de dibujo.

Simbolos de componenetes



En el menu de edicion podemos insertar los datos del esquema del cajetin.

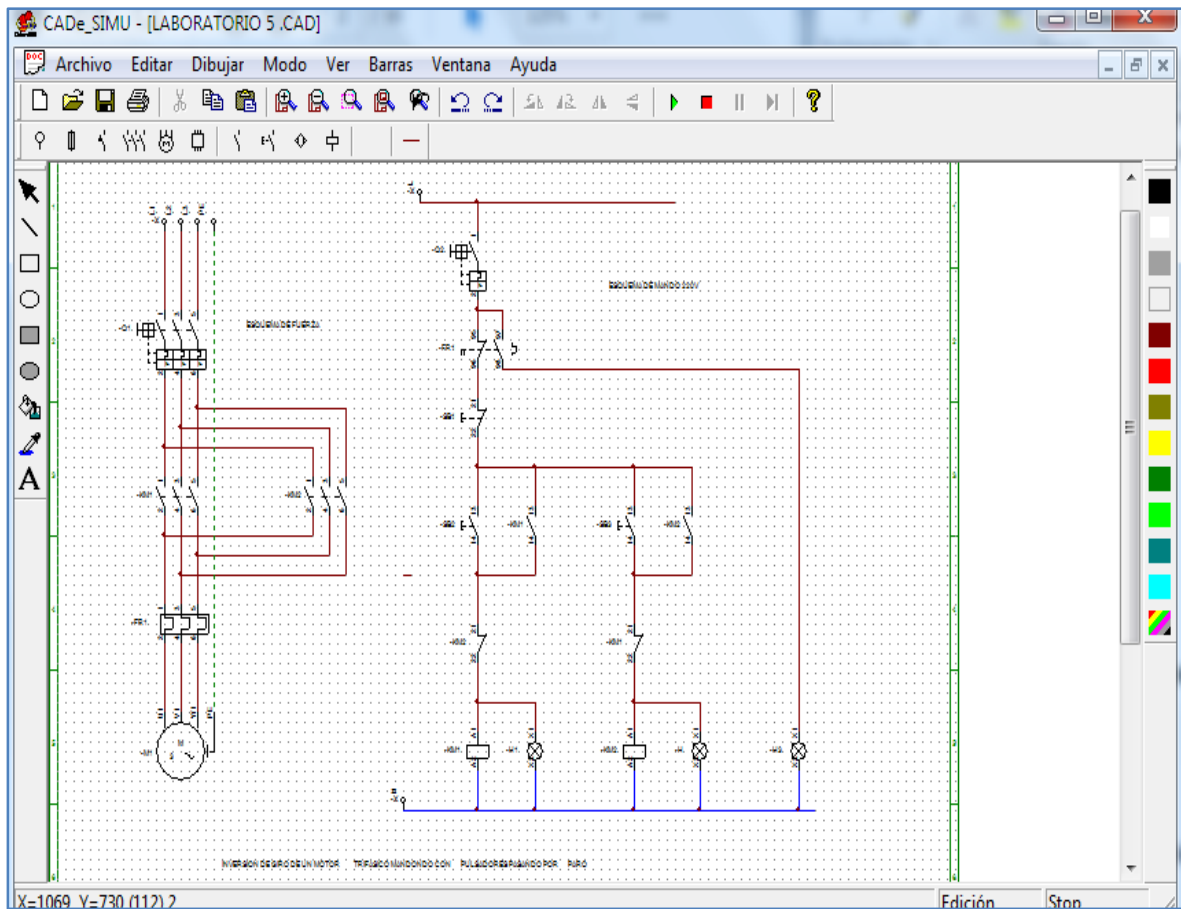


Este programa simula el funcionamiento de los esquemas , es necesario alimentar y conectar correctamente todos los componentes àra que la simulacion funcione de forma adecuada.

El marcado de los componenetes es muy importante , ya que todo lo que este identificado con el mismo nombre actuaran de modo simultaneo.

Se selecciona cada componente y se situaran en la zona donde lo queramos insertar , despues se identificaran en el esquema .

Ejemplo de un diseño electrico



IX. Elementos del sistema automatizado

A. Protección contra cortocircuitos

El circuito de protección contra cortocircuito tiene como objetivo garantizar la seguridad del sistema en caso de un funcionamiento incorrecto de los equipos, dispositivos del módulo para laboratorio, conexiones incorrectas durante la

realización de las prácticas etc. El dispositivo a proteger al módulo de laboratorio es el breaker automático que brinda las siguientes características:

- Diseño con protección contra contacto accidental.
- Diseño con limitación de energía que protege mejor durante el cortocircuito a los componentes instalados.
- Accesorio de fácil montaje en campo.
- Válido para tensiones de CA y CD en un sólo dispositivo.



Figura 7 : Breaker automático.

B. Guarda-motor

Para la protección del motor se instaló un guarda-motor que es un disyuntor magneto-térmico, especialmente diseñado para la protección de motores eléctricos.

Éste diseño especial proporciona al dispositivo una curva de disparo que lo hace más robusto frente a las sobre-intensidades transitorias típicas de los arranques de los motores.

El disparo magnético es equivalente al de otros interruptores automáticos pero el disparo térmico se produce con una intensidad y tiempo mayores.

La característica principal del guarda-motor, al igual que de otros interruptores automáticos magneto-térmicos, son la capacidad de ruptura, la intensidad nominal o calibre y la curva de disparo. Proporciona protección frente a sobrecargas del motor y cortocircuitos, así como, en algunos casos, frente a falta de fase.

1. Protección contra sobrecargas.
2. Protección contra cortocircuitos.
3. Maniobras normales manuales de cierre y apertura.
4. Señalización.



Figura 8: Guarda-motor Siemens.

C. Contactor

Aparato de conexión, con una sola posición de reposo, accionado a distancia y capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito, incluidas las sobrecargas en servicio.

Está constituido por un circuito de mando, unos contactos principales y unos contactos auxiliares.



Figura 9: Vista de un Contactor Modelo Sirius del fabricante Siemens

El circuito de mando está formado por un electroimán con circuito magnético, con una parte fija y otra móvil y una bobina de excitación.

Los contactos principales, son los encargados del corte y restablecimiento de la corriente en el circuito principal. Unos son fijos y otros móviles, sujetos mecánicamente al elemento móvil del electroimán. Deben tener gran resistencia mecánica para resistir muchas conexiones y desconexiones, y también alta conductividad, por lo que se recubren habitualmente con plata y níquel.

Los contactos auxiliares abren y cierran el circuito de mando actuando sobre la bobina del contactor. Los contactos auxiliares suelen ser normalmente abiertos, aunque pueden tener otras configuraciones, actúan igual que los contactos auxiliares, cerrando el circuito auxiliar cuando se cierra el circuito principal.

Al conectar a una tensión la bobina del contactor, que está en estado de reposo, crea un flujo magnético que atrae la parte móvil del circuito magnético y como consecuencia, cierra los contactos principales y auxiliares normalmente abiertos, mientras que abre los contactos auxiliares normalmente cerrados. Al desconectar la bobina, los muelles hacen volver la parte móvil a la posición de reposo.

D. Interruptor magnetotérmico

Aparato mecánico de conexión capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales, así como de establecer, soportar durante un tiempo y cortar corrientes de corto circuito.

El interruptor automático está constituido principalmente por las siguientes partes:

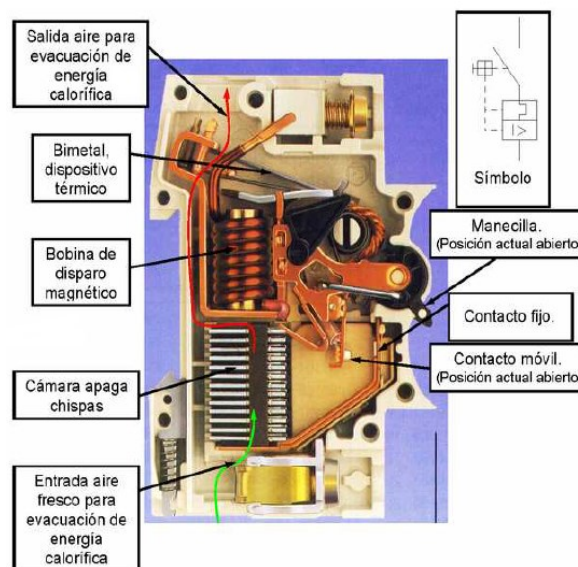


Figura 10: Sección lateral de un Interruptor Magnetotérmico (Fuente: Imagen de José Manuel Pérez

Trujillo cedida a Wikipedia

Son aparatos modulares, pueden tener de uno a cuatro polos: unipolares, bipolares, tripolares y tetrapolares.

Tienen incorporados un disparador térmico y otro magnético, que actúan sobre un dispositivo de corte.

El disparador térmico, consta de una lámina bimetálica, que al calentarse por encima de una determinada temperatura, sufre una deformación y provoca la apertura de un contacto, dejando el circuito abierto.

Este comportamiento se produce en base al efecto Joule por el cual, la temperatura de esta lámina esta proporcionalmente ligada a la corriente que la atraviesa, por lo que se pretende limitar la corriente de funcionamiento del circuito a proteger aguas abajo. Este sistema se utiliza para detectar sobrecargas

E. Interruptor diferencial

Se trata de un aparato mecánico de conexión, que actúa interrumpiendo el paso de la corriente al circuito que protege, cuando detecta que la diferencia entre la corriente de entrada y la de salida superan un valor límite.



Figura 11: Imágenes de los interruptores diferenciales de dos y cuatro polos

(Fuente: ABB [17]).

Se utiliza cuando el neutro está unido directamente a tierra y está constituido esencialmente, por un núcleo magnético, bobinas conductoras y bobina con dispositivo de corte.

Cuando la intensidad que circula por los dos conductores no es igual, por haber una fuga a tierra (IT), el campo magnético resultante no es nulo, induciéndose una corriente en la bobina del dispositivo de corte, el cual actúa interrumpiendo el circuito.

Se llama sensibilidad del diferencial a la mínima intensidad de corriente de fuga a tierra, para la que el aparato se desconecta. Se llaman de alta sensibilidad los interruptores diferenciales de sensibilidad menor o igual de 30 mA y de baja los de sensibilidad mayor de 30 mA.

F. Circuitos de paro de emergencia

En el circuito de paro de emergencia, debe tener en cuenta ciertos factores, de los cuales se menciona a continuación:

- Cuando se pulsa un paro de emergencia, la máquina en cuestión no podrá ponerse en marcha al desenclavarla, sin pulsar un RESET por el operario.
- Las paradas de emergencia deben ser activadas mediante un pulsador de tipo seta situado a pie de máquina, y si procede, en un punto del camino lógico de evacuación.
- Debe poseer un sistema de enclavamiento mecánico, de manera que para desenclavar es necesario girarla.

Se recomienda que la parada de emergencia se instale respetando los anteriores puntos, y que esta actúe cortando la alimentación de un relé en el cuadro de control, que se mantendrá siempre activo por auto-alimentación en estado normal cuyo reinicio será posible con un pulsador de rearme de operario. Este relé cortará la alimentación de maniobra o estará en el primer lugar de las seguridades mediante un contacto NA del mismo, y señalará el estado de parada de emergencia activada mediante un contacto NC.

➤ **Características del paro de emergencia:**

- Estilos de presionar-halar o desbloqueo por rotación.
- Iluminado o sin iluminación.
- Operadores de plástico o metálicos.
- Bloqueo de contacto de auto monitoreo NC.



Figura 12: Mando de paro de emergencia.

➤ **Selector – luces piloto**

Los dispositivos de mando son de gran importancia para la comunicación persona-dispositivo en el área de aplicaciones industriales.

El selector de tres posiciones que será utilizado, está montado al final del panel, proporcionando el mando de la energía al módulo.

En la parte inferior se encuentran las luces piloto que nos sirve de señalización, es decir, en el momento de accionamiento se encenderá la luz de color verde que nos indicará el paso de energía al módulo.

En el campo industrial podemos ver que los selectores se hallan montados en pletinas de conmutación, paneles de control, por ambas manos, en la manufactura de ascensores y en las plantas de manejo de materiales, incluidas cintas

transportadoras. El accionamiento manual de los dispositivos empieza operando secuencias y procesos funcionales, o sirve para conducir éstos a un final.



Figura 13 : Selector de tres posiciones



Figura 14 : Luz piloto

G. Sensor de proximidad.

Un sensor se define como un dispositivo que proporciona una información legible sobre una variable física del sistema.

Los sensores de presencia nos permiten detectar si un objeto está en una posición determinada o cerca de alguna zona, son sensores todo o nada y tienen dos formas de configuración, normalmente abierta y normalmente cerrada.

De esta manera un sensor con configuración normalmente abierta, cerrará su conexión cuando detecte el paso de objetos, proporcionando una señal lógica y no hará nada en ausencia de los mismos.

Por otro lado un sensor con configuración normalmente cerrada, proporcionará una señal lógica siempre y cuando no se detecten objetos y abrirá su contacto dejando de emitir la señal cuando detecte el paso de los mismos.

Podemos clasificarlos en:

-
- Sensores de contacto: Electromecánicos.
 - Sensores de proximidad: Inductivos, Capacitivos, Ópticos, Ultrasonidos, Reed.

Todos los sensores se pueden clasificar según el tipo de señal de salida, esta puede ser analógica o digital, según la magnitud física a detectar, posición, velocidad, nivel, temperatura, fuerza, etc. También se puede clasificar según el parámetro variable, resistivo, capacitivo, inductivo, piezoeléctrico, etc...

Las características principales de un sensor son el rango de medida, la resolución, la precisión, la repetición, la curva de calibración, sensibilidad, linealidad, histéresis, velocidad de respuesta y errores.

Los criterios de selección que hay que tener en cuenta a la hora de elegir un sensor frente a otros son:

- Naturaleza de la magnitud a medir.
- Tipo de señal de salida.
- Utilización.
- Equipos disponibles.
- Condiciones de utilización, grado de protección necesario.
- Especificaciones técnicas.
- Alimentación y consumo del sensor.
- Coste.

X. Descripción del sistema propuesto

1. Diseño eléctrico del Sistema de transporte propuesto

En este apartado se abordará el diseño de la instalación desde un punto de vista eléctrico.

Los aspectos más importantes a tratar serán por un lado el dimensionamiento de la instalación, la elección de los equipos y el cumplimiento de la normativa NEMA , NEC y CIEN.

La instalación del sistema automatizado de transporte de carga, nace de la necesidad de trasladar un gran volumen homogéneo de carga, en unas condiciones específicas de seguridad.

La instalación aquí contemplada ha sido diseñada para el envío de material en la mina , desde la zona de descarga del avión, hasta la zona de recogida por parte de los pasajeros.

Existen tres áreas bien diferenciadas, una primera donde se carga el producto mediante el uso de dos bandas transportadoras , una segunda áreas que comprenden los extremos de la línea de trabajo donde existe la presencia de personal técnico en las tareas de izar el producto y una tercera de descarga , aquí el motor es controlado por un variador de frecuencia , es importante destacar la necesidad de controlar la velocidad de traslado de la carga.

Con estas premisas, se genera un concepto de instalación, de aplicación en la minería , donde se encuentran sistema de cintas transportadoras, movidas por sendos motores eléctricos de inducción.

El control de estos motores se deja a cargo de un variador de frecuencia, la zona de carga y la zona de descarga serán controladas por del mismo, mientras que la zona intermedia se controlará mediante dos bandas movidas por dos motores.

Los criterios de diseño eléctrico, del sistema automatizado de la cinta de transporte , son la creación de una instalación , en baja tensión y con equipos descentralizados.

La alimentación de los equipos se realizará con tensiones de línea de 240 V para los circuitos trifásicos y 120V para los monofásicos, ambos en alterna. Los circuitos de mando se alimentarán a 24 V en continua.

La instalación estará dividida en tres circuitos eléctricos principales con entradas de alimentación independientes. Uno de ellos constará principalmente de un variador de frecuencia, contactores de entrada, contactores de salida, la aparamenta de protección del variador y la aparamenta de protección de los motores, circuito de mando.

2. Funcionamiento del sistema

Esta compuesto por 3 pulsadores, que son los que están señalados. El primero lo que hace es activar las bandas, y mediante un temporizador arranca la segunda banda.

Una vez que el recipiente alcanza el nivel adecuado mediante un detector magnético que activa y manda a parar las bandas.

Diagrama de mando

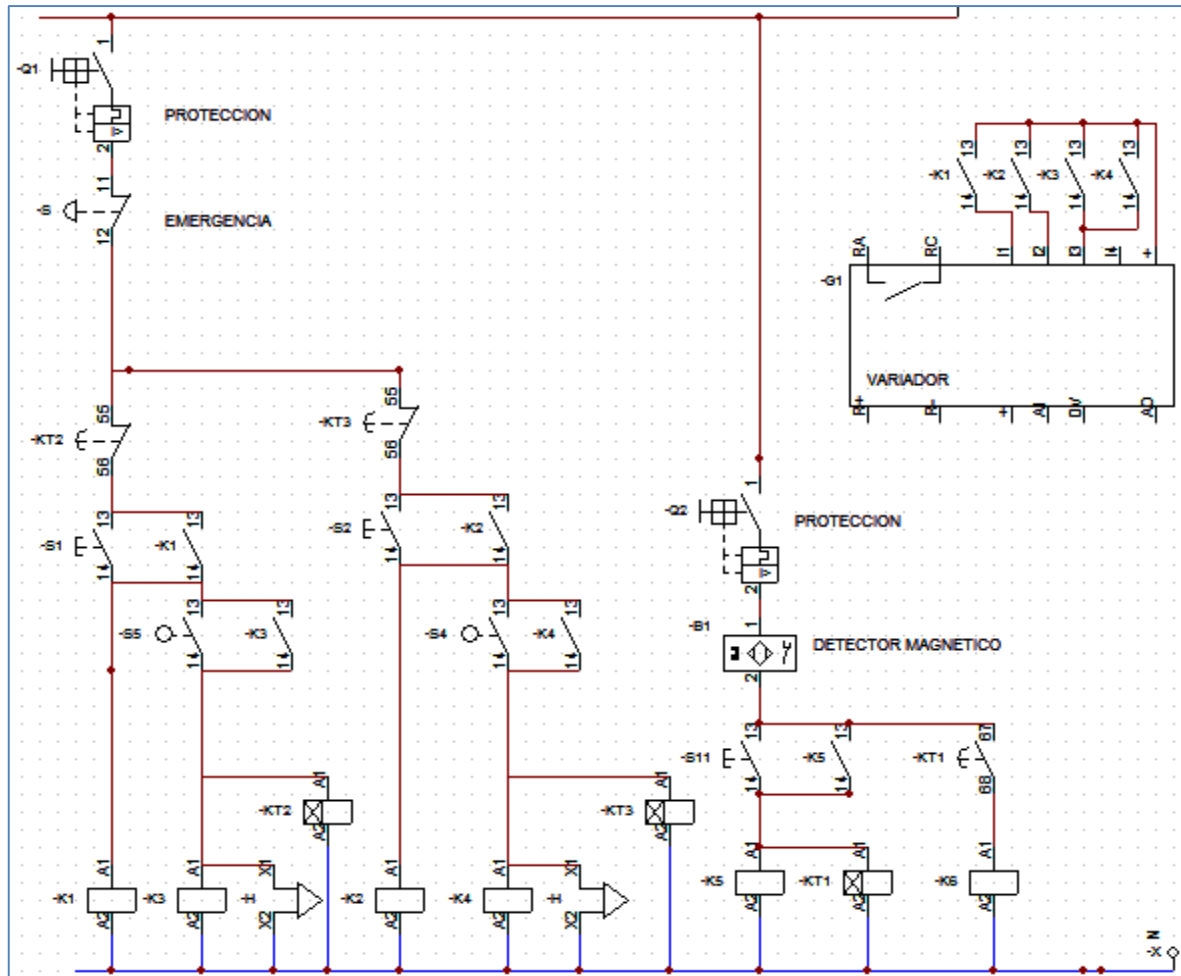


Figura 15 : Diagrama de mando del sistema propuesto

Mediante el segundo pulsador el operador empieza a izar el producto para sacarlo a la superficie, al pasar el recipiente por un final de carrera en nuestro caso S5, reduce la velocidad y después de un cierto tiempo se detiene.

Ya una vez estando en la superficie el recipiente y se desaloja el producto, se presiona el pulsador #3 para bajar el recipiente y al pasar por el final de carrera S4 disminuye la velocidad a la mitad hasta detenerse. Y así termina el ciclo

Diagrama de fuerza

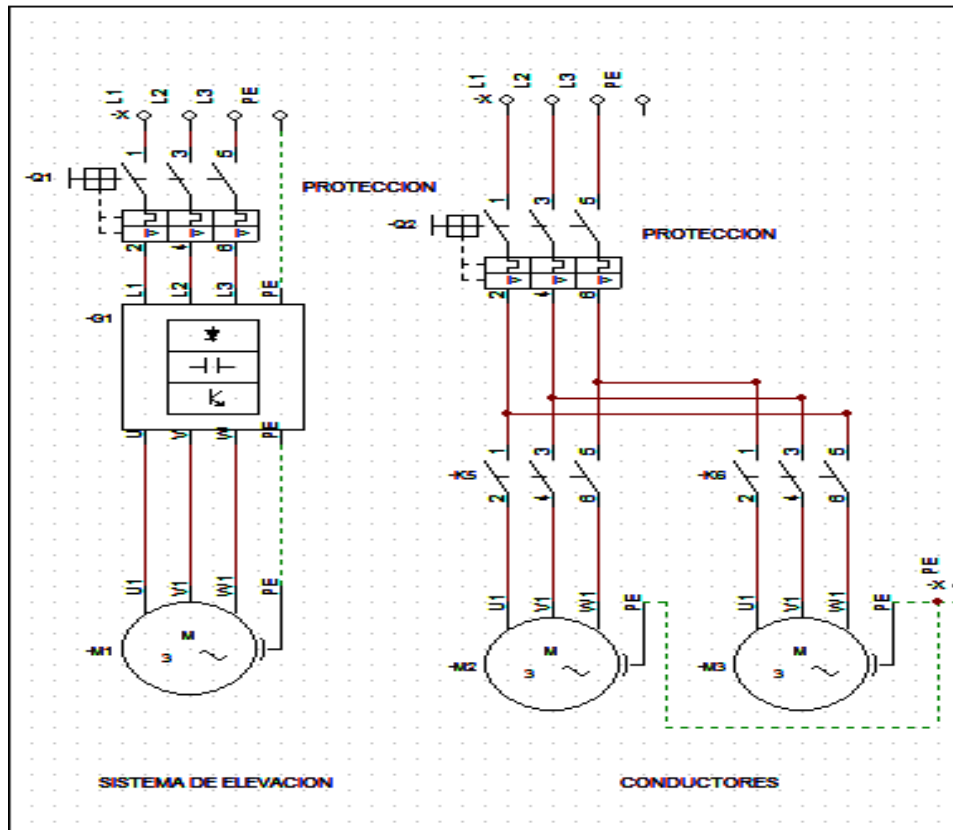
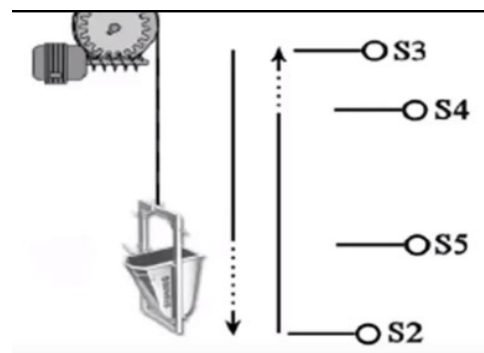
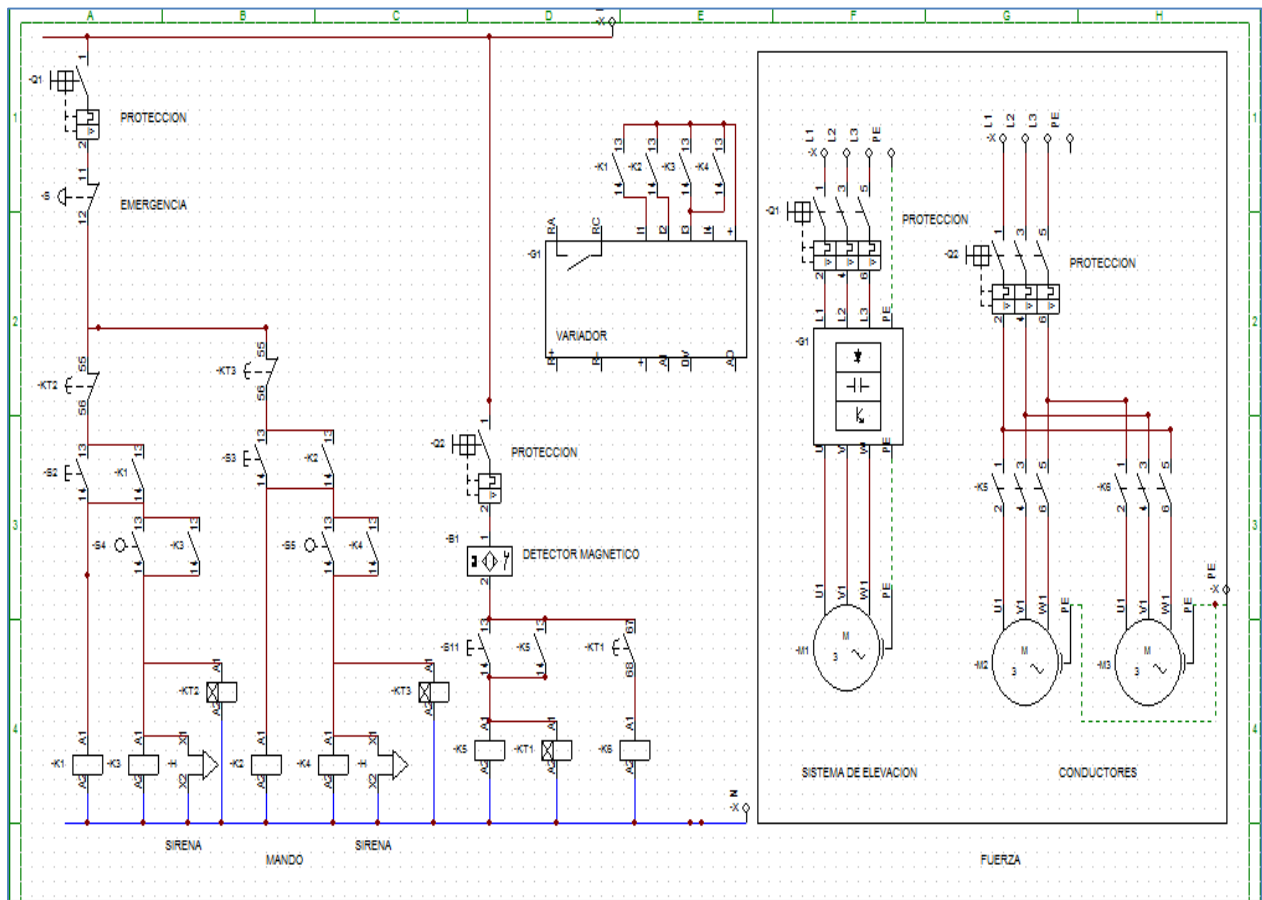


Figura 16 : Diagrama de fuerza del sistema propuesto

Banda transportadora



Diseño del Programa completo de la banda transportadora



XI. Conclusiones

De acuerdo al planteamiento de los objetivos de trabajo de tesis es posible desarrollar el nuevo diseño del sistema eléctrico de la cinta transportadora utilizando variadores de frecuencia.

Al lograr estos cambios en esta instalación se da un valor muy importante a la seguridad de las personas y de los equipos, por lo que las zonas de trabajo son reguladas con velocidades máximas de funcionamiento predeterminadas y señalizadas mediante señales luminosas y acústicas.

El uso correcto de la instalación y la seguridad de la carga a transportar se aseguran mediante el sistema de detección de paso de carga, su principal defecto es la pérdida de exactitud en la detección en los arranques y las paradas de la instalación ya que no es capaz de detectar pérdidas de carga que se pudieran ocasionar en estos casos.

Como medida de mejora se podrían introducir una mayor cantidad de sensores intermedios que permitieran un seguimiento de la carga más exhaustivo u otras lógicas de supervisión de la carga mediante contadores

Se logro conocer la estructura y características de los variadores de frecuencia , asi como estudiar sus ventajas y desventajas en estos sistamas.

De igual manera se trabajó con el software libre CADE_Simu donde se llevo a cabo el diseño del sistema automatizado de la cinta transportadora , tanto el diagrama de fuerza con el de mando.

XII. Bibliografía

- Lopez ROA, Agustín. Cintas transportadoras. Edición: CIE inversiones editoriales dossat-2000,383p.
- Chapman, Stephen J. Máquinas Eléctricas. McGraw-Hill. 2005.Pág 382, 389, 452, 458.
- ROLDÁN VILORIA José. Motores Eléctricos Automatismos de Control. Editorial Paraninfo. Madrid. 1989.
- COOPER D. William, Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición, Naucalpan de Juárez, México, Prentice Hall Hispanoamericana, octubre de 1991, Pag 280-300
- FITZGERALD A. E. Máquinas Eléctricas. Editorial Mc Graw-Hill. México. 1986.
- DANFOS, “Generalidades sobre variadores de velocidad y arrancadores suaves”. [Material gráfico proyectable].2007.
- CREUS Antonio, Instrumentación industrial, Octava Edición, México, Alfaomega Grupo Editor, S.A. Septiembre de 2010, Pag 280-290
- Principios básicos de extrusión de plásticos, Ramos Luis Francisco. Editora Limusa México. Balderas México D.F. 2012
- ROJAS, Héctor Fabio, Instalación de un Variador de velocidad [Dispositivas]. Universidad Autónoma de Occidente 2011. 28 diapositivas.
- SABACA, Mariano (2006). Automatismos y cuadros eléctricos. McGraw Hill.
- TARANTINO ALVARADO, Rocco y ARANGUREN ZAMBRANO, Sandra. “Introducción y diagnóstico de fallas en la industria.”[Material de apoyo para la asignatura IMOSI].Universidad de Pamplona.
- Productos y servicios Automatización y Control Variadores de velocidad. Recuperado de <http://www.schneiderelectric.es/sites/spain/es/inicio.page>
- Jose Garcia Trasancos, Instalaciones eléctricas en media y baja tensión. Adaptado al nuevo RTB. 2002.5ta edición. <http://www.fernandezantonio.com.ar/documentos%5C020.pdf>